

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЗИЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВНОГО ЗВЕЗДНОГО СПЕКТРОГРАФА 6-м ТЕЛЕСКОПА (БТА)

И. Ф. Бикмаев, В. Е. Панчук

Исследованы позиционные нестабильности ОЗСП, характерные для разных режимов работы БТА. Сделаны практические рекомендации, учет которых привел к повышению качества спектрального материала и эффективности использования ОЗСП.

Positional instabilities of the MSS, which characterize various regimes of work of the BTA, are studied. Practical recommendations, which increased the quality of the spectral material and the efficiency of the MSS, are made.

По своей оптической схеме, размерам коллимированного пучка и назначению Основной звездный спектрограф (ОЗСП) 6-м телескопа БТА сходен со спектрографами кудэ.* Принципиальным отличием является то, что элементы спектрографа закреплены на одной из опор альтазимутальной монтировки БТА, и поэтому ОЗСП подвержен механическим и тепловым нестабильностям. Учет этих нестабильностей или борьба с ними несомненно повышают качество спектрального материала. Поэтому мы сочли необходимым опубликовать некоторые результаты исследования позиционных характеристик ОЗСП.

Температурный режим ОЗСП. На первом этапе исследования ОЗСП спектрокопистами отдела физики звезд были выполнены кратковременные параллельные измерения колебаний температуры воздуха внутри спектрографа и смещений спектральных линий. В результате был сделан вывод о доминирующем влиянии тепловых нестабильностей на позиционные характеристики спектров, получаемых на длиннофокусной ($F=3157$ мм) камере № 1. Поэтому левая опора БТА, на которой смонтирован ОЗСП, была обшита теплоизолирующим материалом, а на платформе фокуса Нэсмита был установлен пластиковый павильон. Уже в процессе плановых наблюдений мы реализовали статистический подход к исследованию температурных нестабильностей — температура воздуха непрерывно регистрировалась метеорологическим термографом М-16 с калибровкой при помощи аспирационного психрометра МВ-4М. Схема размещения точек измерения приведена на рис. 1. На рис. 2 приведены характерные кривые хода температуры, измеренной в точках *A*, *B* и *C*. На рис. 3 приведена гистограмма разности температур воздуха в объеме спектрографа и вблизи целевой части. В среднем спектрограф теплее целевой части на 2.5—3.5 °С. Вытянутость правого крыла гистограммы связана с некоторой тепловой инерционностью объема ОЗСП, проявления которой видны на рис. 2. Температура в районе целевой части на 0.5—1 °С выше температуры подкупольного пространства. На рис. 4 показана корреляция изменений температуры объема спектрографа с изменениями температуры в подкупольном пространстве. Максимальная измеренная скорость уменьшения температуры спектрографа в точке *C* 0.8 °С/ч.

Теоретические оценки влияния изменений температуры. Ниже сделаны оценки вклада некоторых элементов ОЗСП, работающих в сложном температур-

*К о п ы л о в И. М., Р ы л о в В. С. Спектральная аппаратура для 6-метрового телескопа (БТА). — В кн.: Новая техника в астрономии. Л.: Наука, 1979, вып. 6, с. 24—31.

ном режиме, в позиционную нестабильность спектров. Поскольку основной объем наблюдений позиционной нестабильности выполнен с камерой № 1 для варианта работы с обратной дисперсией $1.8 \text{ \AA}/\text{мм}$ (дифракционная решетка $600 \text{ штрихов}/\text{мм}$, угол блеска $25^\circ 10'$, диапазон длин волн $5800\text{--}6300 \text{ \AA}$), теоретические оценки сделаны для этого варианта.

1. Изменение постоянной d дифракционной решетки. Линейные температурные изменения размеров дифракционной решетки приводят к изменению расстояний между штрихами или постоянной решетки d , входящей в основную формулу дифракционной решетки

$$n\lambda = d(\sin \varphi + \sin \psi),$$

где n — порядок спектра; λ — длина волны исследуемой линии; φ и ψ — углы падения и дифракции соответственно. Для рабочих порядков спектра в схеме ОЗСП углы φ и ψ отсчитываются по одну сторону от нормали к решетке. При фиксированных n , λ и φ температурное изменение постоянной d приведет к изменению угла дифракции, что вызовет смещение линий в спектре.

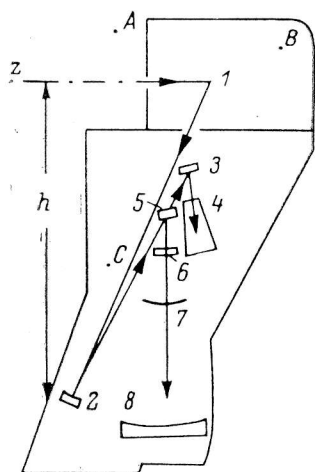


Рис. 1. Схема размещения элементов ОЗСП.

Точками A, B и C отмечены места установки термографов. 1 — целевая часть; 2 — коллиматор; 3 — дифракционная решетка камеры № 2; 4 — камера № 2; 5 — дифракционная решетка камеры № 1; 6 — корректор камеры № 1; 7 — кассетная часть камеры № 1; 8 — зеркало камеры № 1.

казали, что при уменьшении температуры решетки на 1°C линия с $\lambda=6000 \text{ \AA}$ смещается в красную область спектра на 40 мкм .

2. Изменение показателя преломления воздуха. Изменения температуры и атмосферного давления приводят к изменению по-

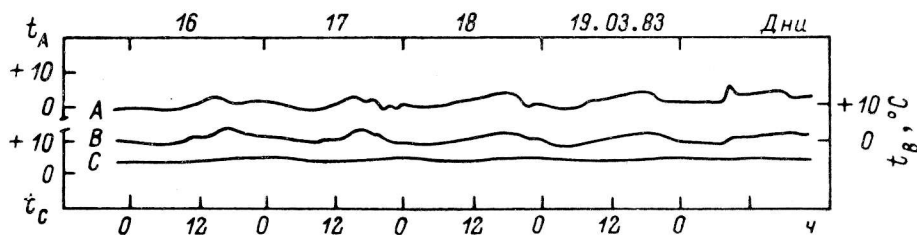


Рис. 2. Характерные кривые хода температур воздуха, измеренных в точках A, B и C.

казателя преломления воздуха, что изменяет ход лучей при отражениях от элементов спектрографа. Расчеты для границы дифракционная решетка камеры № 1—воздух показали, что:

— при уменьшении температуры воздуха на 1°C изменение показателя преломления воздуха приведет к смещению линии с $\lambda=6000 \text{ \AA}$ в синюю область спектра на 1 мкм ;

— уменьшение атмосферного давления на 6 мм рт. ст. приведет к смещению этой же линии в красную область спектра на 3 мкм . Так как полученные смещения малы по сравнению с оценками в п. 1, оценки для границ коллиматор—воздух и зеркало камеры—воздух не делались.

3. Изменение длины кассетной части камеры № 1. Линейное температурное расширение кассетной части распределяется равномерно на четыре фотоластинки длиной по 300 мм каждая. При изменении температуры кассетной части на 1°C длина каждой пластинки изменится на 4 мкм , равномерно распределенные смещения линий при этом исчезающе малы.

4. Смещение узла щели относительно оси коллиматора. Узел щели (рис. 1) конструктивно жестко связан с опорой горизон-

тальной оси БТА (ось z). Температурные изменения высоты опоры h могут приводить к смещению положения узла щели относительно оси коллиматора. Составляющая смещения, перпендикулярная к оси коллиматора, приведет к изменению угла падения φ , что при неизменных n , λ и постоянной d вызовет изменение угла дифракции ϕ . Согласно расчетам, при уменьшении температуры опоры оси z телескопа на 1°C изменение высоты опоры приведет к смещению линии с $\lambda=6000\text{ \AA}$ в красную область спектра на 10 мкм .

Таким образом, из рассмотренных случаев наиболее важны изменение размеров дифракционной решетки и высоты опоры оси z вследствие колебаний температуры подкупольного пространства.

Наблюдаемые позиционные нестабильности. ОЗСП является сложным оптико-механическим прибором, поведение которого в условиях колебаний температуры воздуха оценить невозможно. Поэтому основной задачей мы считали исследование позиционных нестабильностей в условиях, максимально

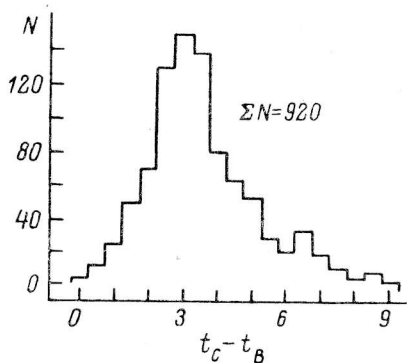


Рис. 3. Гистограмма разности температур $t_c - t_B$.

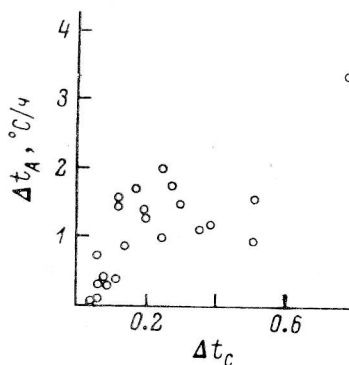


Рис. 4. Скорость изменения температуры t_c в зависимости от скорости изменения температуры t_A .

приближенных к реальным наблюдениям на ОЗСП. Такие условия обеспечиваются при наблюдениях в других фокусах БТА (Нэсмит-1 и первичном фокусе). Именно при таких наблюдениях мы могли исследовать детально поведение спектра сравнения (газоразрядной лампы) на камерах № 1 и 2 ОЗСП. Использован также классический способ, применяемый на подвесных спектрографах: спектр сравнения экспонируется по обе стороны спектра звезды дважды, до и после основной экспозиции. Этот способ позволяет накопить статистику нестабильностей в процессе выполнения плановых наблюдений.

1. Метод измерений. Регистрация нестабильностей выполнена фотографически. При полностью неподвижном положении телескопа выполнялись контрольные снимки спектра сравнения (10—15 снимков), причем после каждой экспозиции призмы узла спектра сравнения раздвигались вдоль щели на 3 мм (соответствует $\sim 1\text{ мм}$ на фотопластинке). Сразу после окончания контрольных снимков призмы сдвигались в исходное положение к центру щели, угол наклона дифракционной решетки изменялся на $1-2$ мин. дуги и выполнялась еще одна экспозиция. Затем в зависимости от требований задачи выполнялись рабочие экспозиции спектра сравнения, промежутки между которыми определялись режимом работы телескопа или ходом изменения температуры. Каждая рабочая экспозиция выполнялась при новом положении призм, устанавливаемых в те же позиции, что и при выполнении контрольных снимков. Время экспозиции спектра сравнения для камеры № 1 во всех случаях равно нескольким минутам, что намного больше характерного времени конвекции воздуха в объеме камеры. Таким образом, малоамплитудные флуктуации изображения линий не регистрировались. Измерения полученных таким образом спектрограмм выполнялись на координатно-измерительном приборе по дифференциальной методике: определялись разности координат контрольной линии и рабочей линии. Такие измерения позволяют исключить:

- кривизну спектральных линий,
- небольшую неперпендикулярность проекции щели и направления дисперсии,
- небольшую неперпендикулярность осей измерительного прибора.

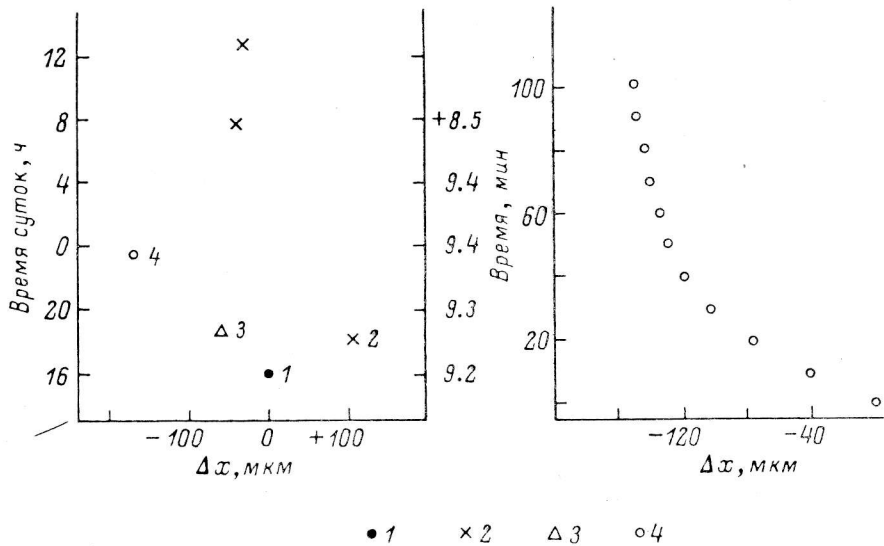


Рис. 5. Изменение положений спектральных линий (камера № 1) при перенаведениях телескопа.

1 — режим профилактики БТА; 2 — телескоп неподвижен; 3 — наведение на 1-й объект; 4 — режим наблюдений (гидрирование объекта). Здесь, как и на рис. 6—8, длина волны λ возрастает вправо от нуля.

Рис. 6. Позиционная нестабильность ОЗСП в режиме гидрирования в первый час работы БТА.

Реализуемая при этом точность одного измерения 3—4 мкм. Приводимые ниже результаты измерения положения рабочих линий получены усреднением шести независимых измерений разных линий.

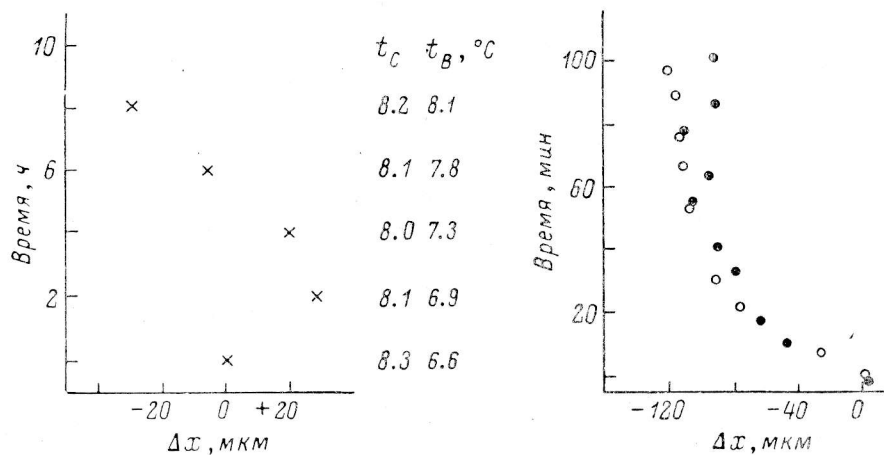


Рис. 7. Наблюдаемые нестабильности при неподвижном телескопе. Справа указаны значения температур в точках С и В.

Рис. 8. Одновременные измерения нестабильностей в режиме гидрирования в камерах № 1 (светлые кружки) и № 2 (темные кружки). (Первый час работы БТА).

2. Нестабильности при перенаведениях телескопа. На рис. 5 показаны изменения положений линий относительно контрольных, возникающие при перенаведениях телескопа. По оси ординат приведены моменты времени экспонирования рабочих спектров и значения температуры воздуха внутри спектрографа. Видно, что наблюдаемые позиционные

нестабильности ($\Delta x = 100 \div 150$ мкм) во много раз превосходят величину ожидаемых тепловых нестабильностей при данных изменениях температуры. Причиной нестабильностей в этом случае, по-видимому, является нежесткость несущей конструкции спектрографа. Следовательно, спектрограммы, экспонированные в которых пришлось прекратить вследствие метеоусловий или сбоя системы управления, непригодны для дальнейшего экспонирования после повторного наведения телескопа.

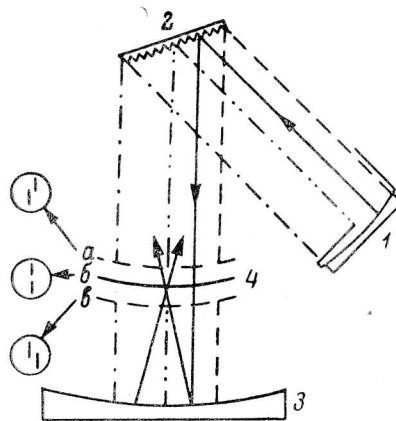


Рис. 9. Схема фокусировки спектрографа методом Гартмана.

Нижняя половина коллиматора 1 закрыта. При положении а фотопластинки выше фокальной поверхности 4, спектральная полулиния смещена в синюю часть спектра. Экспонированная от нижней части коллимированного пучка полулиния смещена в красную часть спектра. При положении фотопластинки ниже фокальной поверхности взаимное расположение полулиний меняется на противоположное. 2 — дифракционная решетка; 3 — объектив камеры.

3. Нестабильности в режиме гидрирования. В данном пункте решалась задача выявления характера нестабильностей в условиях, когда телескоп непрерывно сопровождает один и тот же объект (характерное время 1—2 ч) и нет существенных изменений температуры. На рис. 6 показан основной результат — линии испытывают сравнительно плавное смещение на

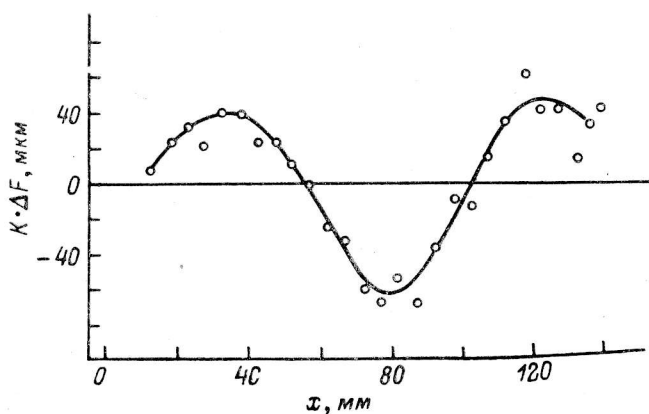


Рис. 10. Образец результата обмера гартманогаммы.

Коэффициент K — масштабный фактор, учитывающий уменьшение расстояния между центрами тяжести верхней и нижней половин коллимированного пучка, возникающее при наклоне решетки ($K = 0.7 \pm 0.9$ для камеры № 2). См. рис. 9.

величину $\Delta x = 150$ мкм за время первой экспозиции 1 ч 30 мин. Изменения температуры, способные вызвать такие смещения, ни в одном из случаев не зарегистрированы.

4. Тепловая нестабильность. Вследствие того что механические нестабильности оказались доминирующими, влияние изменений температуры на стабильность спектра измерено при неподвижном телескопе. Кроме того, в период измерений другие работы в башне БТА не выполнялись. Результаты измерений с интервалом 2 ч приведены на рис. 7. Анализ рисунка позволяет сделать выводы:

— зарегистрированы позиционные нестабильности, связанные с изменением температуры;

— наблюдаемые смещения в несколько раз превосходят результаты оценок, основанных на статистике температур точки С;

— на среднем участке рисунка есть хорошее согласие между наблюдениями и оценкой, основанной на изменении температуры в точке *B*.

5. Одновременные измерения позиционной неустойчивости в камерах № 1 и 2. Для локализации причины, приводящей к наблюдаемым в режиме гидрирования позиционным неустойчивостям, выполнено одновременное фотографирование спектра сравнения камерами № 1 и 2. С этой целью после экспонирования контрольных спектров на фотопластинках обеих камер рабочие спектры экспонировались поочередно на каждой камере, что достигалось путем выведения дифракционной решетки камеры № 1 из коллимированного пучка (рис. 4). Углы дифракции на решетках обеих камер в течение всего эксперимента оставались неизменными, процедура ввода—вывода решеток их не нарушает. На рис. 8 приведены результаты обмера спектрограмм, причем величины смещений, полученных на спектрограмме камеры № 2, пересчитаны на масштаб камеры № 1 с использованием отношения фокусных расстояний камер $3157 : 600 = 5.3$ (различием в геометрических факторах решеток мы пренебрегли). Видно, что причина неустойчивостей находится вне камер. Предположение о синхронном изменении постоянных решеток камер № 1 и 2 маловероятно, поэтому в качестве основной причины оставляем смещение положения узла щели относительно оси коллиматора.

6. Сезонные изменения положения фокуса камеры № 2. Фокусировку камер мы проводим при помощи метода Гартмана. Суть метода состоит в измерении относительных смещений спектральных линий, образованных при экспонировании различных частей коллимированного пучка (рис. 9). При совпадении поверхности фотопластинки с фокальной поверхностью камеры такие относительные смещения равны нулю. В течение 9 мес наблюдательного сезона 1983/84 гг. положение коллиматора ОЗСП и кассетной части камеры № 2 оставались неизменными. Образец обмера одной из 11 полученных в этот период гартманогрaмм приведен на рис. 10. Результаты измерений показали, что положение фокуса камеры № 2 все время оставалось практически неизменным со среднеквадратичным отклонением 17 мкм. При этом в интервале температур воздуха в спектрографе от -7 до $+14$ °C не обнаружено корреляции отсчета фокуса и температуры.

Практические рекомендации. 1. Проверку фокусировок камер ОЗСП необходимо проводить раз в месяц в начале каждого периода наблюдений.

2. Первую экспозицию на ОЗСП необходимо начинать не ранее чем через час после вывода БТА в режим слежения за объектом.

Статистика показала, что позиционная неустойчивость после первого часа работы БТА сменяется режимом относительной позиционной устойчивости. Эта позиционная устойчивость сохраняется затем в течение всей ночи и не зависит от числа наблюдаемых объектов.

3. Для контроля стабильности обязательной процедурой должно быть экспонирование спектра сравнения (при различных положениях призм на щели) в начале и в конце экспозиции звездного спектра.

4. Величина обнаруженных неустойчивостей сравнима с диаметром кружка сферической аберрации для зеркала камеры № 1 — 35 мкм. Следовательно, использование менискового корректора камеры № 1 не повышает разрешающей способности камеры.

При выполнении данной работы мы учли результаты исследований ОЗСП, проведенных в 1976/77 гг. сотрудниками отдела физики звезд под руководством И. М. Копылова и Е. Л. Ченцова. Большая работа по вводу ОЗСП в эксплуатацию была выполнена сотрудниками лаборатории астросветоприемников В. С. Рыловым и Ю. В. Сухаревым. Всем им авторы выражают благодарность.

Поступила в редакцию 15.04.85